臭氧水对韭蛆的防治效果及对韭菜生长的影响

胡静荣[1]，史彩华[1,*]，徐宝云[2]，魏启文[3]，谢 文[2]，李传仁[1]，张友军[2,*]

（1. 长江大学农学院，湖北荆州 434025；2. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所，北京 100081；
3. 全国农业技术推广服务中心，北京 100026）

摘要：【目的】为科学合理地浇灌臭氧(O_3)水防治韭菜迟眼蕈蚊 *Bradysia odoriphaga* 幼虫(俗称韭蛆)，明确最佳浇灌时期和使用条件。【方法】在平地覆膜环境中浇灌不同浓度(5, 10, 20 和 30 mg/L)O_3 水，调查对韭蛆的防治效果；在平地覆膜环境中不同日光强度、3 种不同灌溉环境[平地覆膜、小拱棚和小拱棚 + 草垫]、2 种不同灌溉环境[平地覆膜、小拱棚]的不同浇灌频率等条件下分别浇灌 30 mg/L O_3 水，调查对韭蛆的防治效果；调查平地覆膜环境中浇灌 30 mg/L O_3 水对韭菜产量和根系生长的影响；分析日光强度对不同灌溉环境中土壤温度及浇灌 O_3 水对韭蛆的防治效果的影响。【结果】平地覆膜条件下，O_3 水防治韭蛆的最佳浓度为 20 ~ 30 mg/L。在平地覆膜条件下浇灌 30 mg/L O_3 水处理中，对韭蛆的防治效果与浇灌当天的日光强度呈正相关；当日光强度超过 60 000 lx 时，第 1 天韭蛆的死亡率高达 100%；日光强度低于 10 000 lx 时，对韭蛆无显著的防治效果；日光强度处于中间水平时，前期对韭蛆的防治效果较差，而后期防治效果逐渐增强。土壤升温效果与日光强度呈正相关，也与灌溉环境显著相关，不同灌溉环境下土壤 5 cm 深处的温度为：平地覆膜 > 小拱棚 > 小拱棚 + 草垫。小拱棚内浇灌 O_3 水对韭蛆的防治效果显著高于平地覆膜组和小拱棚 + 草垫组。采取连续多次浇灌 O_3 水有利于提高 O_3 水对韭蛆的防治效果，而且小拱棚内韭蛆的防治效果更显著。浇灌 O_3 水时，进水口离田埂末端的距离不能超过 40 m。平地覆膜环境中浇灌 30 mg/L O_3 水后，韭菜的株高、重量和须根数量显著高于对照组(浇灌清水)；韭菜植株分蘖数与对照组差异不显著。【结论】若能科学合理地浇灌 O_3 水，既能达到防治韭蛆的理想效果，又能促进韭菜生长。

关键词：韭菜迟眼蕈蚊；韭菜；臭氧水；平地覆膜；小拱棚；日光强度

中图分类号：Q965.9　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2018)12-1404-10

Control efficacy of ozone water against *Bradysia odoriphaga* (Diptera: Sciaridae) larvae and its influence on the growth of Chinese chives

HU Jing-Rong[1], SHI Cai-Hua[1,*], XU Bao-Yun[2], WEI Qi-Wen[3], XIE Wen[2], LI Chuan-Ren[1], ZHANG You-Jun[2,*] (1. College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434025, China; 2. Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 3. National Agro-Tech Extension Service Center, Beijing 100026, China)

Abstract: 【Aim】To determine the optimum irrigation period and application condition for controlling the larvae of the chive maggot, *Bradysia odoriphaga*, scientifically and rationally with irrigating ozone (O_3) water. 【Methods】We investigated the control efficacy of different concentrations of O_3 water (5, 10, 20 and 30 mg/L) against *B. odoriphaga* larvae, the control efficacy of 30 mg/L O_3 water against *B. odoriphaga* larvae in flat land covered with plastic film under different sunlight intensities, in three

---

基金项目：国家重点研发计划(2017YFD0201600)；国家自然科学基金项目(31772170)；蔬菜有害生物控制与优质栽培北京市重点实验室项目；国家特色蔬菜产业技术体系(CARS-24-C-02)

作者简介：胡静荣，女，1985 年 8 月生，湖北襄阳人，博士研究生，研究方向为作物保护，E-mail：hujingrong2017@126.com

[*] 通讯作者 Corresponding authors, E-mail：shicaihua1980@126.com；zhangyoujun@caas.cn

收稿日期 Received：2018-06-06；接受日期 Accepted：2018-09-19

different irrigation conditions (flat land covered with plastic film, small arch plastic shed, and small arch plastic shed covered with petates), and at various irrigation frequencies of 30 mg/L O_3 water under two different irrigation environments (flat land covered with plastic film and small arch plastic shed), respectively. And we also investigated the effects of 30 mg/L O_3 water on the yield and root growth of Chinese chives in flat land covered with plastic film. In addition, we analyzed the influence of sunlight intensity on soil temperatures and the control efficacy of irrigating ozone water under different irrigation environments. 【Results】In the flat land covered with plastic film, the optimum concentration of O_3 water for the control against *B. odoriphaga* larvae was 20 – 30 mg/L. In treatments of irrigating 30 mg/L O_3 water to flat land covered with plastic film, the control efficacy of O_3 water against *B. odoriphaga* larvae was positively related to the sunlight intensity on the day of O_3 water irrigation, the larval mortality of *B. odoriphaga* was up to 100% at 1 d after irrigation when the sunlight intensity was over 60 000 lx, while no significant control efficacy was found when the sunlight intensity was below 10 000 lx. When the sunlight intensity was moderate, the prevention and control efficacy of 30 mg/L O_3 water against *B. odoriphaga* larvae was poor in the early stage, and gradually enhanced in the late stage. The effect of soil warming was positively correlated with sunlight intensity and significantly related with irrigation environments. The temperature of 5 cm deep soil under different irrigation conditions was as follows: flat land covered with plastic film > small arch plastic shed > small arch plastic shed covered with petates. The control efficacy of O_3 water irrigated into the small arch plastic shed against *B. odoriphaga* larvae was significantly higher than that irrigated into the flat land covered with plastic film and that irrigated into the small arch plastic shed covered with petates. Repeatedly continuous irrigating of O_3 water could improve the control efficacy of O_3 water against *B. odoriphaga* larvae, and the control efficacy in the small arch plastic shed was more remarkable. When O_3 water was irrigated, the distance between the inlet and the end of the farmland should not exceed 40 m. After irrigating 30 mg/L O_3 water in the plat land covered with plastic film, the plant height, weight and the number of fibrous roots of Chinese chives were significantly higher than those of the control (irrigating water), but the number of tillers per cluster of Chinese chive showed no significant difference from the control. 【Conclusion】When the O_3 water is irrigated scientifically and reasonably, it not only shows ideal control efficacy against *B. odoriphaga* larvae, but also can promote the growth of Chinese chives.

Key words: *Bradysia odoriphaga*; Chinese chives; ozone water; flat land covered with plastic film; small arch plastic shed; sunlight intensity

臭氧(O_3)具有强烈的氧化性，除了用于工业、医疗等领域外，也逐渐被农业领域广泛认可，比如粮食储藏(Mahroof *et al.*, 2018)、果蔬保鲜(Tzortzakis and Chrysargyris, 2017)等。由于 O_3 稳定性差，不容易在作物上残留，因此，通常被作为化学农药的替代剂用于仓储害虫防治(Keivanloo *et al.*, 2014)。例如：浓度为0.45 mg/m^3 的 O_3 熏蒸7 h能够100%杀死赤拟谷盗 *Tribolium castaneum* (Beckett and Morton, 2003)；浓度为30 mg/m^3 的 O_3 熏蒸3～7 d可将玉米象 *Sitophilus zeamais*、谷蠹 *Rhyzopertha dominica*、赤拟谷盗 *T. castaneum* 和锈赤扁谷盗 *Cryptolestes ferrugineus* 全部杀死(孟宪兵, 2011)。O_3 可以通过昆虫气门或体壁进入体内，氧化体细胞壁中的不饱和脂肪酸，破坏卵磷脂，让昆虫体液流失，或组织变性、器官萎缩，或生理功能降低等，导致虫体死亡(史彩华等, 2016b; Zhu, 2018)。因此，科学合理地利用 O_3 杀虫杀菌且无残留的优点，克服其稳定性差易挥发的缺点，对田间作物病虫害的防治具有重要意义。

韭菜迟眼蕈蚊 *Bradysia odoriphaga*，又称韭蛆，隶属双翅目(Diptera)长角亚目(Nematocera)眼蕈蚊科(Sciaridae)(杨集昆和张学敏, 1985)。该虫完全变态，一生有4个虫态，但仅幼虫期危害，其寄主范围广，可危害7科30多种蔬菜、瓜果和食用菌，尤其喜欢取食百合科的韭菜 *Allium tuberosum*，造成其严重减产或绝收(Shi *et al.*, 2016)。韭蛆是我国特有

的蔬菜地下害虫,国外研究至今空白,国内研究起步较晚。虽然报道可以防治韭蛆的方法包括悬挂黑色粘虫板(王洪涛等, 2015)、摆放糖醋酒液(王萍等, 2011)、释放生物线虫(白光瑛等, 2015)等,但是目前菜农们仍然优先选用操作简单、见效速度快、成本相对较低的化学杀虫剂。由于目前登记在韭菜上防治韭蛆的杀虫剂非常少,长期大量使用某种化学药剂,导致韭蛆产生严重的抗药性而增加防治难度(Shi *et al*., 2017; 史彩华等, 2018)。在无更好的替代制剂或方法时,菜农们只能盲目加大化学药剂的使用剂量,导致韭菜农药残留超标,毒韭菜事件屡见不鲜,严重制约了韭菜产业的持续发展。因此,寻找新的、安全的、替代化学药剂防治韭蛆的方法迫在眉睫。

本实验室前期已有研究表明,O_3 水对韭蛆具有较好的防治效果,但必须在覆膜封闭的环境条件下使用;另外,不同日期浇灌相同浓度的 O_3 水,发现防治效果极不稳定(史彩华等, 2016a)。因此,本研究在此基础上,选择在不同灌溉环境、日光强度等条件下,分别浇灌不同浓度的 O_3 水,调查它们对韭蛆的防治效果以及对韭菜产量和根系生长的影响,为科学合理地使用 O_3 水防治韭蛆提供理论依据和实践参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试韭菜:雪韭,于 2014 年 4 月种植于北京中国农业科学院蔬菜花卉研究所顺义区农场(40°1′N, 116°6′E)。相同行的穴距约 20 cm,行间距约 30 cm。每年春季撒施有机肥(河北旺润农业科技有限公司)800 kg/667 m^2,另施复合肥(湖北新洋丰肥业股份有限公司)50 kg/667 m^2,其他时间不再施肥。韭菜苗移栽后未施任何药剂,田间进行人工除草。

1.1.2 供试仪器:O_3 水机由山东省德州市惠生现代农业有限公司提供。

1.2 平地覆膜环境中不同浓度臭氧水对韭蛆的防治效果测定

本试验于 2016 年 10 月在北京中国农业科学院蔬菜花卉研究所顺义区试验农场进行。挑选土壤肥力结构和韭菜长势一致的田块划分小区,每小区面积 120 m^2(长×宽=30 m×4 m)。试验前 1 d 割除韭菜,将厚度为 0.10 mm 浅蓝色无滴膜铺在小区地面上,四周用土压盖严实,简称“平地覆膜”。进水口位于小区田埂的一端,离田埂末端的距离为 30 m。在进水口取水样,用 O_3 浓度测试仪(山东省德州市惠生现代农业有限公司提供)测 O_3 水的浓度。一次性分别向膜内通入浓度为 5, 10, 20 和 30 mg/L O_3 水,水深 4~5 cm。浇灌清水作为空白对照。每处理 3 次重复。浇灌前调查虫口基数,浇灌后第 1, 7, 14 和 21 天分别采取“Z”字型 10 点取样调查韭蛆幼虫的数量, 每点 1 穴(每穴约 15~25 株),每小区共调查 10 穴。为了避免揭膜泄露臭氧,调查时无需揭膜,直接在膜上钻孔 (长×宽×高=20 cm×20 cm×20 cm),取出带有韭菜根系的土块进行调查。钻孔取样时, 预先在孔洞四周压实土壤再钻孔。

1.3 平地覆膜环境中不同日光强度下浇灌臭氧水对韭蛆的防治效果测定

本试验于 2016 年 11 月和 2017 年 4 月在北京中国农业科学院蔬菜花卉研究所顺义区试验农场进行。在不同试验日期(因每天的太阳光照强度不同,因此视为不同日光强度)挑选土壤肥力结构和韭菜长势一致的田块划分小区,每小区面积 120 m^2(长×宽=30 m×4 m)。试验前 1 d 割除韭菜或清理冬季枯叶,将 0.10 mm 浅蓝色无滴膜铺在小区地面上,四周用土压盖严实。一次性向膜内通入 30 mg/L O_3 水,水深 4~5 cm。清水为空白对照。浇灌方法和调查方法同 1.2 节。试验当天的日光强度用自动光照度检测仪(HJ07-ZDS-10,北京北信科远仪器有限责任公司)测定。

1.4 不同灌溉环境下土壤温度的变化趋势以及臭氧水对韭蛆防治效果的测定

1.4.1 不同日光强度下不同灌溉环境中土壤温度的测定:本试验于 2017 年 6 月在北京中国农业科学院蔬菜花卉研究所顺义区试验农场进行。挑选土壤肥力结构和韭菜长势一致的田块划分小区,每小区面积 20 m^2(长×宽=5 m×4 m)。试验包括平地覆膜、小拱棚(高 1.5 m)和小拱棚+草垫 3 个处理,膜为 0.10 mm 浅蓝色无滴膜,四周用土压盖严实。膜下面土壤中 5 cm 深处插入自动温度测定仪(ZigWSN-C-A,北京紫腾科技有限公司),连续 10 d 监测不同灌溉环境下土壤的温度,并记录每天最大的日光强度。分析“日光强度-灌溉环境-土壤温度”三者之间的关系。

1.4.2 不同灌溉环境下浇灌臭氧水对韭蛆的防治效果测定:本试验于 2016 年 12 月在北京中国农业科学院蔬菜花卉研究所顺义区试验农场进行。挑选土壤肥力结构和韭菜长势一致的田块划分小区,每

小区面积 120 m^2(长×宽=30 m×4 m)。试验包括平地覆膜、小拱棚(高 1.5 m)、小拱棚+草垫和清水对照 4 个处理,膜为 0.10 mm 浅蓝色无滴膜,四周用土压盖严实。试验前 1 d 割除韭菜或清理冬季枯叶,一次性向膜内通入 30 mg/L O_3 水,水深 4~5 cm。清水为空白对照。浇灌方法和调查方法同 1.2 节。浇灌后第 10 和 20 天调查韭蛆幼虫的数量,平地覆膜采取膜上钻孔调查,同 1.2 节;小拱棚内采取人工进入调查。

1.5　不同灌溉环境、不同浇灌臭氧水频率下臭氧水对韭蛆的防治效果测定

本试验于 2017 年 1 月在北京中国农业科学院蔬菜花卉研究所顺义区试验农场进行。挑选土壤肥力结构和韭菜长势一致的田块划分小区,每小区面积 120 m^2(长×宽=30 m×4 m)。试验包括平地覆膜、小拱棚(高 1.5 m)和清水空白对照 3 个处理,膜为 0.10 mm 浅蓝色无滴膜,四周用土压盖严实。试验前 1 d 割除韭菜或清理冬季枯叶,分别选择连续 3 d向膜内通入 30 mg/L O_3 水 1, 2 和 3 次,水深均 4~5 cm,其中每天只浇灌 1 次,若浇灌 3 次需连续 3 天完成。浇灌方法和调查方法同上述 1.2 节。浇灌后第 10 和 20 天分别采取"Z"字型 5 点取样调查韭蛆数量,每点 1 穴(每穴约 15~25 株)。平地覆膜采取膜上钻孔调查,同 1.2 节;小拱棚采取人工进入调查。

1.6　臭氧水对小拱棚中田块不同区段范围内韭蛆的防治效果测定

本试验于 2016 年 12 月在北京中国农业科学院蔬菜花卉研究所顺义区试验农场进行。挑选土壤肥力结构和韭菜长势一致的田块划分小区并搭建小拱棚(高 1.5 m),每小区面积 320 m^2(长×宽=80 m×4 m)。试验前 1 d 割除韭菜或清理冬季枯叶,一次性向膜内通入 30 mg/L O_3 水,水深 4~5 cm。浇灌清水为空白对照。进水口位于小区田埂的一端,离田埂末端的距离为 80 m。每处理 3 次重复。在小拱棚内分 4 个距离段(0-20, 20-40, 40-60 和 60-80 m)调查韭蛆数量,每段 20 m。浇灌前分别调查虫口基数,浇灌后第 10 和 20 天分别采取"Z"字型 5 点取样调查韭蛆幼虫的数量,每点 1 穴(每穴约 15~25 株)。

1.7　平地覆膜环境中臭氧水对韭菜生长的影响

本试验于 2017 年 4 月在北京中国农业科学院蔬菜花卉研究所顺义区试验农场进行。处理和浇灌方法同上述 1.3 节。分别于处理后第 5, 10 和 20 天调查韭菜最高植株的高度,每小区随机调查 30 穴;调查第 20 天韭菜的产量,每小区随机调查 10 点,每点 0.12 m^2(0.6 m×0.2 m);调查第 20 天韭菜的须根数量,每小区随机调查 30 穴,每穴选 1 株;调查第 20 天每穴韭菜的分蘖株数,每小区随机调查 30 穴。每小区为 1 个重复,共 3 次重复。

1.8　数据统计分析

采用 Excel 2007 进行数据资料统计;根据《GB/T 17980.67-2004 农药田间药效试验准则(二)第 67 部分》计算防治效果,防治效果=(1-空白对照区药前虫口数量×处理区药后虫口数量/(空白对照区药后虫口数量×处理区药前虫口数量))×100%;将防治效果转化成反正弦平方根后采用 SPSS 17.0 进行数据分析;采用 Duncan 氏新复极差(DMRT)法进行差异显著性检验,$P<0.05$ 作为差异显著的判断标准。

2　结果

2.1　平地覆膜环境中不同浓度臭氧水对韭蛆的防治效果

平地覆膜分别浇灌 5, 10, 20 和 30 mg/L O_3 水,结果表明:无论 O_3 水浓度高或低,第 1 天对韭蛆几乎无防治效果;第 7 天表现出显著差异,其防治效果与 O_3 水浓度呈正相关($P<0.05$)。当 O_3 水浓度为 20 和 30 mg/L 时,第 14 天对韭蛆的防治效果分别为 71.52% 和 76.09%,两者之间无显著差异($P>0.05$);第 21 天的防治效果分别为 69.52% 和 72.95%,两者之间也无显著差异($P>0.05$)(表 1)。结果说明浓度为 20~30 mg/L O_3 水对韭蛆的防治效果相对最佳。

2.2　平地覆膜环境中不同日光强度下浇灌臭氧水对韭蛆的防治效果

在平地覆膜模式下浇灌 30 mg/L O_3 水,结果表明:选择浇灌 O_3 水当天的日光强度不同,对韭蛆的防治效果也不尽相同。其中,当日光强度为 28 000 lx 及以下时,第 1 天对韭蛆均无防治效果,而且后期调查结果也表明,浇灌 O_3 水当天的日光强度越弱,对韭蛆的防治效果越差;随着日光强度的增加,后期对韭蛆的防治效果显著增强。当浇灌 O_3 水当天的日光强度为 60 620 和 61 350 lx 时,对韭蛆第 1 天的防治效果均为 100%,后期持续保持无韭蛆状态(表 2)。结果说明浇灌 O_3 水当天的日光强度越大,韭蛆的死亡速度越快,防治效果越好。

2.3　不同灌溉环境下土壤温度的变化以及臭氧水对韭蛆的防治效果

2.3.1　日光强度对不同灌溉环境中土壤温度的影响：比较平地覆膜、小拱棚和小拱棚 + 草垫环境下土壤 5 cm 深处的温度，结果表明：土壤升温效果与日光强度呈正相关（图 1）。相同日光强度下，平地覆膜组的土壤升温效果最佳，最高温度可达 54℃；其次是小拱棚，最高温度可达 46℃；而升温效果最差的是小拱棚 + 草垫，最高温度仅可达 38℃（图 1）。

表 1　平地覆膜环境中不同浓度臭氧水处理后不同时间对韭蛆的防治效果

Table 1　Control efficacy of irrigating ozone water at different concentrations against *Bradysia odoriphaga* larvae in flat land covered with plastic film in different days after treatment

O_3 浓度(mg/L) O_3 concentration	防治效果 Control efficacy (%) 1 d	7 d	14 d	21 d
5	3.78 ± 2.04 a	9.92 ± 3.12 d	28.61 ± 4.44 c	20.88 ± 12.54 b
10	4.28 ± 2.55 a	24.26 ± 6.79 c	48.00 ± 4.47 b	32.16 ± 5.23 b
20	5.77 ± 3.76 a	43.76 ± 7.71 b	71.52 ± 4.39 a	69.52 ± 5.96 a
30	7.97 ± 2.47 a	56.29 ± 2.26 a	76.09 ± 5.74 a	72.95 ± 3.78 a

每处理 3 次重复，数值为平均值 ± 标准差；同列数据后不同字母表示差异显著（Duncan 氏新复极差法，$P < 0.05$）；下表同。
Values are means ± *SD* of three replications. Means in a column followed by different letters are significantly different (Duncan's new multiple range test, $P < 0.05$). The same for the following tables.

表 2　平地覆膜环境中不同日光强度下浇灌臭氧水（30 mg/L）处理后不同时间对韭蛆的防治效果

Table 2　Control efficacy of irrigating ozone water (30 mg/L) against *Bradysia odoriphaga* larvae in flat land covered with plastic film under different sunlight intensity in different days after treatment

处理日期 Treatment date	日光强度(lx) Sunlight intensity	防治效果 Control efficacy (%) 1 d	7 d	14 d	21 d
2016.11.10	28 000	2.93 ± 2.28 b	39.64 ± 5.14 b	68.12 ± 4.72 b	74.99 ± 1.30 b
2016.11.12	9 820	2.32 ± 1.53 b	9.67 ± 4.68 c	12.30 ± 7.14 c	36.33 ± 4.84 c
2016.11.14	5 000	3.44 ± 1.91 b	2.36 ± 1.16 d	8.48 ± 1.69 c	13.41 ± 8.07 d
2017.4.29	60 620	100.00 ± 0.00 a	100.00 ± 0.00 a	100.00 ± 0.00 a	100.00 ± 0.00 a
2017.4.30	61 350	100.00 ± 0.00 a	100.00 ± 0.00 a	100.00 ± 0.00 a	100.00 ± 0.00 a

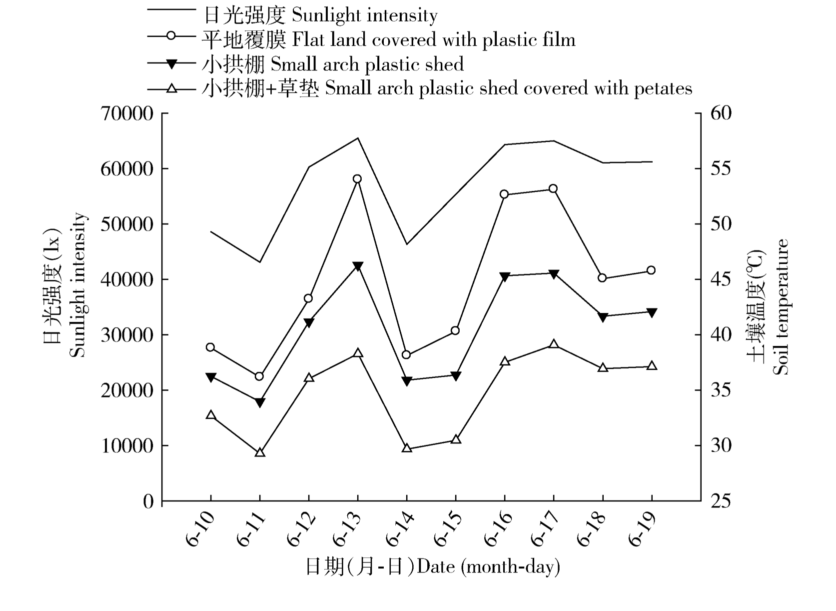


图 1　日光强度-灌溉环境-土壤温度三者之间的关系

Fig. 1　Relationship among sunlight intensity, irrigation environment and soil temperatures

2.3.2　不同灌溉环境下臭氧水对韭蛆的防治效果：不同灌溉环境下浇灌 30 mg/L O_3 水，结果表明：同等条件下，小拱棚内浇灌 O_3 水对韭蛆的防治效果最佳，其中第 10 和 20 天分别为 81.38% 和 85.03%。

平地覆膜环境下浇灌 O_3 水对韭蛆的防治效果稍强于小拱棚 + 草垫，但是它们两者之间的差异并不显著（$P > 0.05$），其中第 10 天的防治效果分别为 61.93% 和 60.68%；第 20 天的防治效果分别为 71.22% 和 64.69%（表 3）。

表 3　不同灌溉环境下浇灌臭氧水（30 mg/L）处理后不同时间对韭蛆的防治效果

Table 3　Control efficacy of irrigating ozone water (30 mg/L) against *Bradysia odoriphaga* larvae under different irrigation environments in different days after treatment

灌溉环境 Irrigation environments	防治效果 Control efficacy (%)	
	10 d	20 d
平地覆膜 Flat land covered with plastic film	61.93 ± 2.18 b	71.22 ± 7.29 b
小拱棚 Small arch plastic shed	81.38 ± 4.35 a	85.03 ± 1.52 a
小拱棚 + 草垫 Small arch plastic shed covered with petates	60.68 ± 8.54 b	64.69 ± 10.78 b

2.4　不同灌溉环境下浇灌臭氧水频率对其对韭蛆防治效果的影响

在平地覆膜和小拱棚两种灌溉环境下，分别浇灌不同频率且浓度为 30 mg/L 的 O_3 水防治韭蛆，结果表明：采取连续多次浇灌 O_3 水有利于提高 O_3 水对韭蛆的防治效果。然而，同等条件下，小拱棚内浇灌 O_3 水对韭蛆的防治效果显著高于平地覆膜内浇灌 O_3 水对韭蛆的防治效果，其中平地覆膜内连续浇灌 O_3 水 3 次后，第 10 和 20 天对韭蛆的防治效果分别为 91.40% 和 96.02%；而小拱棚内仅需连续浇灌 O_3 水 2 次，第 10 和 20 天对韭蛆的防治效果则可分别达到 95.19% 和 96.84%，与平地覆膜条件下连续浇灌 3 次的防治效果无显著差异（$P > 0.05$）；若在小拱棚内连续浇灌 3 次 O_3 水，对韭蛆的防治效果与连续浇灌 2 次 O_3 水的防治效果差异不显著（$P > 0.05$）（表 4）。

表 4　平地覆膜和小拱棚环境中浇灌臭氧水（30 mg/L）频率对其对韭蛆防治效果的影响

Table 4　Effect of the frequency of irrigating ozone water (30 mg/L) on its control efficacy against *Bradysia odoriphaga* larvae in flat land covered with plastic film and small arch plastic shed

施用频率 Application frequency	浇灌后第 10 天时的防治效果（%） Control efficacy at 10 d after irrigation		浇灌后第 20 天时的防治效果（%） Control efficacy at 20 d after irrigation	
	平地覆膜 Flat land covered with plastic film	小拱棚 Small arch plastic shed	平地覆膜 Flat land covered with plastic film	小拱棚 Small arch plastic shed
1	55.75 ± 5.07 c	74.60 ± 2.17 b	67.94 ± 3.21 c	82.39 ± 2.23 b
2	80.71 ± 3.83 b	95.19 ± 2.48 a	86.77 ± 2.35 b	96.84 ± 1.41 a
3	91.40 ± 1.05 a	99.38 ± 1.07 a	96.02 ± 1.69 a	99.76 ± 0.42 a

2.5　臭氧水对小拱棚中田块不同区段范围内韭蛆的防治效果

在 80 m 长的小拱棚内浇灌浓度为 30 mg/L O_3 水，并等距离分 4 个区段，调查不同区段范围内韭蛆的防治效果，结果表明：离进水口越近的区段范围内韭蛆的防治效果越好，离进水口越远的区段范围内韭蛆的防治效果越差。在 0 ~ 20 m 的区段范围内，O_3 水对韭蛆的防治效果稍高于 20 ~ 40 m 的区段范围内的防治效果，但两者之间无显著差异（$P > 0.05$），其中，0 ~ 20 m 和 20 ~ 40 m 区段范围内，第 10 天时的防治效果分别为 80.83% 和 68.03%；第 20 天时的防治效果分别为 84.54% 和 76.32%。当区段范围为 60 ~ 80 m 时，O_3 水对韭蛆几乎无防治效果，见表 5。

表 5　臭氧水（30 mg/L）处理后不同时间对小拱棚中田块不同区段范围内韭蛆的防治效果

Table 5　Control efficacy of irrigating ozone water (30 mg/L) against *Bradysia odoriphaga* larvae in different zones of field in small arch plastic shed in different days after treatment

田块区段范围（m） Zones of field	防治效果 Control efficacy (%)	
	10 d	20 d
0 – 20	80.83 ± 7.25 a	84.54 ± 5.83 a
20 – 40	68.03 ± 5.44 a	76.32 ± 7.33 a
40 – 60	40.40 ± 16.21 b	43.67 ± 13.96 b
60 – 80	9.71 ± 7.23 c	9.85 ± 5.05 c

2.6 平地覆膜环境中臭氧水对韭菜生长的影响

平地覆膜环境中,田间浇灌 30 mg/L O_3 水对韭菜生长有促进作用。与清水对照组比较,韭菜株高显著增加,韭菜产量显著提升,韭菜须根数量显著增多,但韭菜植株分蘖数量无显著差异(表 6)。

表 6 平地覆膜环境中臭氧水(30 mg/L)处理后不同时间对韭菜生长的影响

Table 6 Effects of ozone water (30 mg/L) on the growth of Chinese chives in flat land covered with plastic film in different days after treatment

处理 Treatment	株高(cm) Plant height			第 20 天时的植株重量(g) Plant weight on day 20	第 20 天时的须根数 Number of fibrous roots on day 20	分蘖数(株/丛) Number of tillers per cluster
	5 d	10 d	20 d			
清水(CK) Clean water	12.70 ± 1.56 b	21.57 ± 1.87 b	36.28 ± 1.72 b	412.23 ± 17.96 b	31.27 ± 3.39 b	20.17 ± 3.06 a
臭氧水 Ozone water	13.73 ± 1.43 a	23.32 ± 2.28 a	38.21 ± 1.76 a	424.56 ± 19.66 a	32.90 ± 2.17 a	21.50 ± 2.57 a

3 结论与讨论

3.1 科学合理地浇灌 O_3 水防治韭蛆

大多数昆虫卵期对 O_3 的耐受性较强;幼虫、蛹和成虫期对 O_3 相对敏感(Bonjour *et al.*, 2011)。而且,O_3 对昆虫不同虫态的影响与其浓度紧密相关,浓度越高,对害虫的致死作用越强(史彩华等, 2016b)。然而,高浓度 O_3 可以降低植物的光合作用和核酮糖二磷酸缩化酶的活性,影响植物正常的生理生化代谢(Walse *et al.*, 2017)。因此,防治害虫时科学合理地选择 O_3 浓度至关重要(列淦文等, 2014)。

实验室前期研究结果表明,在封闭环境浇灌 O_3 水可以防治韭蛆,但防治效果并不稳定,推测与日光强度有关(史彩华等, 2016a)。本文在前期研究的基础上,进一步证明了高浓度 O_3 水对韭蛆的防治效果更好,其中,平地覆膜环境下浇灌 20 ~ 30 mg/L 的 O_3 水对韭蛆的防治效果最好;同时,本文也进一步证明了 O_3 水对韭蛆的防治效果与浇灌当天的日光强度紧密相关。例如,2017 年 4 月 29 日和 4 月 30 日的日光强度均高于 60 000 lx,浇灌 O_3 水后第 1 天的防治效果均高达 100%;其他日期的日光强度较弱,浇灌 O_3 水后第 1 天几乎未见防治效果,但是后期对韭蛆的防治效果反映出与浇灌当日的日光强度紧密相关。例如,2016 年 11 月 10, 12 和 14 日的日光强度分别为 28 000, 9 820 和 5 000 lx,浇灌 O_3 水后第 1 天对韭蛆均未见防治效果,但是第 21 天的防治效果明显与浇灌 O_3 水当日的日光强度呈正相关。

相同条件下,环境温度与日光强度呈正相关(Zhang *et al.*, 2014)。史彩华(2017)研究表明,当日光强度达到 55 000 lx 时,直接在地面铺上一层无滴膜,待土壤 5 cm 的温度超过 40℃ 3 h,则可 100% 杀死韭蛆。本文 2017 年 4 月 29 日和 4 月 30 日的日光强度分别为 60 620 和 61 350 lx,远超过 55 000 lx,膜下温度也将超过 40℃,说明仅靠高温就可将韭蛆全部杀死;另外,温度达 30℃ 时,O_3 的半衰期仅 6 min,而且温度越高,O_3 的半衰期越短(王芳等, 1999)。暗示 2017 年 4 月 29 日和 30 日覆膜导致土壤快速升温是杀死韭蛆的主要原因,浇灌的 O_3 水可能来不及发挥作用,韭蛆就已经彻底死亡,或者 O_3 水仅仅起到一点辅助作用。2016 年 11 月 12 日和 14 日,日光强度均低于 10 000 lx,对韭蛆几乎无防治效果。暗示如果浇灌 O_3 水当日的日光强度太弱时,土壤升温速度较慢且温度较低,则不可能通过高温直接杀死韭蛆;也不可能促使韭蛆打开呼吸气门,让 O_3 从气门进入体内破坏其细胞将其杀死。2016 年 11 月 10 日的日光强度为 28 000 lx,O_3 水前期对韭蛆的防治效果较差,后期逐渐增强。暗示如果浇灌 O_3 水当日的日光较强,即使土壤升温不能直接杀死韭蛆,也能延长害虫气门的开启时间,使其失水窒息(Hansen *et al.*, 2013)。另外,害虫气门开启时间延长,有利于 O_3 穿过气门进入体内,氧化体细胞壁中不饱和脂肪酸,破坏卵磷脂,或让组织变性等,最终导致虫体死亡(史彩华等, 2016b)。浇灌 O_3 水当日的日光较弱时,温度仅起辅助作用,O_3 是杀死韭蛆的主要因素。当然,它们之间或许存在交互作用,有待进一步研究。

本研究还表明,小拱棚内浇灌 O_3 水对韭蛆的防治效果最好。而且,当日光较弱时,平地覆膜环境下

连续浇灌 3 次 O_3 水对韭蛆的防治效果可提升到 90% 以上；而小拱棚内仅需浇灌 2 次 O_3 水，其防治效果甚至更高。这一结果可能与小拱棚内存在热空气层有关。当太阳光照射膜面时，提高了棚内空气温度，并且可以较长时间保持空气温度（Katan, 2015）；然而，小拱棚 + 草垫阻止了太阳光透过膜面，不利于提高膜内空气温度和土壤温度。程佳旭等（Cheng *et al*., 2017）研究表明，当环境温度超过 37℃ 2 h，韭蛆成虫不产卵或产卵不孵化。因此，小拱棚内空气温度升高有利于抑制韭蛆成虫产卵或卵孵化，从而减少其后代种群。本研究在 6 月测定不同灌溉环境下土壤 5 cm 深处的温度，结果表明平地覆膜升温效果最佳，其次是小拱棚，小拱棚 + 草垫的升温效果最差，与先前的研究结果（Shi *et al*., 2018）一致。夏季日光强烈时，平地覆膜环境下土壤的升温效果和防治韭蛆的效果均显著优于 1.5 m 高的拱棚（Shi *et al*., 2018）。然而，本研究得出小拱棚的防治效果优于平地覆膜环境下的防治效果，可能与本研究选择浇灌 O_3 水的日期在冬季或者日光较弱有关。虽然平地覆膜环境下土壤升温较快，但是由于膜面紧贴地面，土壤升温速度快降温速度更快；然而，小拱棚能够形成热空气层，棚内土壤降温速度相对较慢；虽然小拱棚 + 草垫环境能够形成热空气层，但是草垫阻止了阳光透过，也不利于空间升温。因此，建议冬季浇灌 O_3 水时选择日光较强的天气，且在小拱棚内进行。

常温常压下，O_3 半衰期约 20 ~ 50 min（史彩华等, 2016b）。O_3 水从田埂的一端流向另一端，流动过程中会逐渐分解，影响韭蛆的防治效果。因此，进水口至田块末端的距离对 O_3 水防治韭蛆的效果至关重要。本研究结果表明，田块末端离进水口短于 40 m 时，O_3 水防治韭蛆的效果显著；若超过 60 m 时，O_3 水对韭蛆几乎无防治效果。因此，采用 O_3 水防治韭蛆时，进水口与田埂末端的距离最好不要超过 40 m。倘若田块太长，建议在田块中间设置进水口，让 O_3 水流向田埂两端，或者多处设置进水口。O_3 水在田间的分解速度与环境温度、pH 值、水质、土壤质地和时间等因素紧密相关（列淦文等, 2014）。因此，浇灌 O_3 水防治韭蛆时，还需考虑更多的环境因子。

3.2 浇灌 O_3 水对韭菜生长的影响

O_3 用于作物病虫害防治，需严格控制其浓度和作用时间，避免对作物造成伤害（白月明等, 2004）。王超铁等（2003）用 O_3 熏蒸 14 种蔬菜苗，得出 O_3 对蔬菜的安全阈值定为 30 mg/m^3。周康群和冯岩（2001）用高于 30 mg/m^3 的 O_3（浓度为 0.3 mg/kg）处理 20 种蔬菜且持续 1 h，发现所有蔬菜叶片均出现不同程度的气候斑。白月明等（2004）用低于 30 mg/m^3 的 O_3 长期熏蒸菠菜 *Spinacia oleracea*，结果导致波菜株高降低，叶面积减少并早衰。因此，暗示高浓度 O_3 或低浓度 O_3 作用长时间，均会影响蔬菜的生长。本研究在平地覆膜环境中浇灌 30 mg/L 的 O_3 水显著增加了韭菜的株高，也提高了韭菜产量，与周仙红等（2016）的研究结果一致，均表现出韭菜增产。具体增产机理并不清楚，但可能有如下原因：其一，与作物种类有关（列淦文等, 2014）。例如，大棚内浇灌 O_3 水，番茄 *Lycopersicon esculentum* 的产量提高 20% 以上，畸形果显著减轻（高敏等, 2007）；低浓度臭氧能够促进茄子 *Solanum melongena* 生长，增加株高、叶片数和茎粗等（余礼根等, 2017）。其二，虽然较高浓度 O_3 主要伤害敏感植物的叶片细胞来影响作物的生长和产量，导致植株光合速率降低，生长和产量下降（Broberg *et al*., 2017），但是，本研究在浇灌 O_3 水之前，地上部分的韭菜叶片已被割除，O_3 无法影响其光合作用。其三，O_3 稳定性极差，待韭菜叶片破土而出时，O_3 已经分解至极低浓度；有研究表明，低浓度 O_3 不但不会造成植物可视性伤害，反而会激发植物的系统抗性，提高其体内抗氧化酶活性，增强适应能力（刘超等, 2016）。其四，植物具有忍耐环境胁迫的能力，受到 O_3 胁迫伤害后，会逐渐调整生长策略以减少伤害产生的不利影响，促使根系储存的养分供应地上部分生长，甚至表现出超补偿生长（Salemaa *et al*., 1999；方向文等, 2007）。其五，工业 O_3 的生成以空气作为原料，因此 O_3 中含有大量的氮氧化气体 NO_x，该气体与水汽结合成为作物可利用的氮肥，有利于促进作物生长（列淦文等, 2014）。

3.3 浇灌 O_3 水对韭菜根系和植株分蘖的影响

提高 O_3 浓度会减少或增加细根生物量（Phillips *et al*., 2009）。本研究在平地覆膜环境中浇灌 30 mg/L O_3 水显著增加了韭菜须根数量，与 Pregitzer 等（2008）研究结果一致。然而，King 等（2001）研究表明，提高臭氧浓度对纸皮桦 *Betula papyrifera* 和美洲山杨 *Populus tremuloides* 根系影响不显著。暗示 O_3 对作物根系的影响与作物种类有关（列淦文等, 2014）。另外，本研究浇灌 30 mg/L O_3 水对韭菜分蘖无显著影响。然而，邵在胜等（2016）研究表明，高浓度 O_3 对不同品种的水稻

Oryza sativa 分蘖影响不同，低敏感性品种的分蘖数无显著变化，而中、高敏感性品种的分蘖数显著降低。因此，暗示 O_3 对作物分蘖的影响也与作物种类有关。有研究表明，O_3 对植物根系生长的影响与其发育阶段、生长年限、种类等密切相关（Huttunen and Manninen, 2013）；同时，也受大气、土壤和光照等条件影响（列淦文等, 2014）。因此，关于浇灌 O_3 水对韭菜根系与植株分蘖的影响，还需要进一步研究。

综上所述，科学合理地使用 O_3 水既可防治韭蛆，也可促进韭菜和根系生长，该方法值得推广。然而，必须在覆膜封闭的环境下，选择晴朗有太阳光的天气使用，防治效果、杀蛆速度与浇灌 O_3 水当日的日光强度呈正相关。

参考文献（References）

Bai GY, Ma HK, Wang XY, Wu LL, Shen GS, Gu XS, Ruan WB, 2015. Research progress on controlling *Bradysia odoriphaga* by entomopathogenic nematodes. *Plant Prot*., 35(4): 25–33. [白光瑛, 马海鲲, 王孝莹, 吴林林, 沈广爽, 谷希树, 阮维斌, 2015. 利用昆虫病原线虫防治韭菜迟眼蕈蚊的研究进展. 中国植保导刊, 35(4): 25–33]

Bai YM, Wang CY, Wen M, Guo JP, 2004. Influences of different ozone concentrations and fumigation days on spinach growth and yield. *Sci. Agric. Sin*., 37(12): 1917–1975. [白月明, 王春乙, 温民, 郭建平, 2004. 臭氧浓度和熏气时间对菠菜生长和产量的影响. 中国农业科学, 37(12): 1917–1975]

Beckett SJ, Morton R, 2003. The mortality of three species of Psocoptera, *Liposcelis bostrychophila* Badonnel, *Liposcelis decolor* Pearman, and *Liposcelis paeta* Pearman, at moderately elevated temperatures. *J. Stored Prod. Res*., 39(1): 103–115.

Bonjour EL, Opit GP, Hardin J, Jones CL, Payton ME, Beeby RL, 2011. Efficacy of ozone fumigation against the major grain pests in stored wheat. *J. Econ. Entomol*., 104(1): 308–316.

Broberg MC, Uddling J, Mills G, Pleijel H, 2017. Fertilizer efficiency in wheat is reduced by ozone pollution. *Sci. Total Environ*., 607–608: 876–880.

Cheng JX, Su Q, Jiao XG, Shi CH, Yang YT, Han HL, Xie W, Guo ZJ, Wu QJ, Xu BY, Wang SL, Zhang YJ, 2017. Effects of heat shock on the *Bradysia odoriphaga* (Diptera: Sciaridae). *J. Econ. Entomol*., 110(3): 1630–1638.

Fang XW, Jia GM, Xu DH, Wang G, 2007. The role of nitrogen in compensatory growth of shrub, *Caragana korshinskii* Kom., following different clipping treatments. *J. Lanzhou Univ*., 43(1): 58–62. [方向文, 贾国梅, 徐当会, 王刚, 2007. 氮在柠条不同刈割处理后补偿生长中的作用. 兰州大学学报, 43(1): 58–62]

Gao M, Li L, Han R, 2007. A good efficacy on ozone against pests and diseases of facilities vegetable. *Northwest Hortic*., (3): 34. [高敏, 李兰, 韩瑞, 2007. 臭氧防治设施蔬菜病虫害效果好. 西北园艺, (3): 34]

Hansen LS, Hansen P, Jensen KV, 2013. Effect of gaseous ozone for control of stored product pests at low and high temperature. *J. Stored Prod. Res*., 54(1): 59–63.

Huttunen S, Manninen S, 2013. A review of ozone responses in Scots pine (*Pinus sylvestris*). *Environ. Exp. Bot*., 90: 17–31.

Katan J, 2015. Soil solarization: the idea, the research and its development. *Phytoparasitica*, 43: 1–4.

Keivanloo E, Namaghi HS, Khodaparast MHH, 2014. Effects of low ozone concentrations and short exposure times on the mortality of immature stages of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Plant Prot. Res*., 54(3): 267–271.

King J, Pregitzer K, Zak D, Sober J, Isebrands J, Dickson R, Hendrey G, Karnosky D, 2001. Fine-root biomass and fluxes of soil carbon in young stands of paper birch and trembling aspen as affected by elevated atmospheric CO_2 and tropospheric O_3. *Oecologia*, 128(2): 237–250.

Lie GW, Ye LH, Xue L, 2014. Effects of ozone stress on major plant physiological functions. *Acta Ecol. Sin*., 34(2): 294–306. [列淦文, 叶龙华, 薛立, 2014. 臭氧胁迫对植物主要生理功能的影响. 生态学报, 34(2): 294–306]

Liu C, Song WT, Yang Q, Ji WP, Li CX, 2016. The effects of ozone water irrigation on the resistant physiology of lettuce. *J. Jiangxi Agric. Univ*., 36(5): 327–331. [刘超, 宋卫堂, 杨琪, 纪文鹏, 李晨曦, 2016. 灌溉臭氧水对生菜抗性生理的影响. 山西农业大学学报, 36(5): 327–331]

Mahroof RM, Amoah BA, Wrighton J, 2018. Efficacy of ozone against the life stages of *Oryzaephilus mercator* (Coleoptera: Silvanidae). *J. Econ. Entomol*., 111(1): 470–481.

Meng XB, 2011. Field application of ozone in control of stored grain insects and mold. *Grain Storage*, 40(3): 14–17. [孟宪兵, 2011. 臭氧杀虫除菌技术的实仓应用. 粮食储藏, 40(3): 14–17]

Phillips DL, Johnson MG, Tingey DT, Storm MJ, 2009. Elevated CO_2 and O_3 effects on fine-root survivorship in ponderosa pine mesocosms. *Oecologia*, 160(4): 827–837.

Pregitzer KS, Burton AJ, King JS, Zak DR, 2008. Soil respiration, root biomass, and root turnover following long-term exposure of northern forests to elevated atmospheric CO_2 and tropospheric O_3. *New Phytol*., 180(1): 153–161.

Salemaa M, Vanha-Majamaa I, Gardner PJ, 1999. Compensatory growth of two clonal dwarf shrubs, *Arctostaphylos uva-ursi* and *Vaccinium uliginosum* in a heavy metal polluted environment. *Plant Ecol*., 141(1/2): 79–91.

Shao ZS, Shen SB, Jia YL, Mu HR, Wang YX, Yang LX, Wang YL, 2016. Impact of ozone stress on growth and yield formation of rice genotypes with different ozone sensitivity. *Sci. Agric. Sin*., 49(17): 3319–3331. [邵在胜, 沈士博, 贾一磊, 穆海蓉, 王云霞, 杨连新, 王余龙, 2016. 臭氧胁迫对不同敏感型水稻生长和产量形成的影响. 中国农业科学, 49(17): 3319–3331]

Shi CH, 2017. Application against *Bradysia odoriphaga* by soil solarization, high temperature and coating plastic film. *China Veg*.,

(7)：90.［史彩华，2017.“日晒高温覆膜法”在韭蛆防治中的应用. 中国蔬菜，(7)：90］

Shi CH，Hu JR，Wei QW，Yang YT，Cheng JX，Han HL，Wu QJ，Wang SL，Xu BY，Su Q，Li CR，Zhang YJ，2018. Control of *Bradysia odoriphaga* (Diptera：Sciaridae) by soil solarization. *Crop Prot*.，114：76 – 82.

Shi CH，Hu JR，Xie W，Yang YT，Wang SL，Zhang YJ，2017. Control of the chive gnat，*Bradysia odoriphaga* (Diptera：Sciaridae) with allyl isothiocyanate under field and greenhouse conditions. *J. Econ. Entomol*.，110(3)：1127 – 1132.

Shi CH，Hu JR，Xu YQ，Yang YT，Cheng JX，Zhang YJ，2016a. Control efficacy of ozone water against the chive gnat，*Bradysia odoriphaga* (Diptera：Sciaridae) and its influences on the growth and seed germination of Chinese chives. *Acta Entomol. Sin*.，59(12)：1354 – 1362.［史彩华，胡静荣，徐越强，杨玉婷，程佳旭，张友军，2016a. 臭氧水对韭蛆防治效果及韭菜种籽发芽生长的影响. 昆虫学报，59(12)：1354 – 1362］

Shi CH，Hu JR，Yang YT，Cheng JX，Li CR，Zhang YJ，2018. Field control efficacy of various pesticides and different application methods against Chinese chive gnat *Bradysia odoriphaga*. *J. Plant Prot*.，45(2)：282 – 289.［史彩华，胡静荣，杨玉婷，程佳旭，李传仁，张友军，2018. 不同药剂和施药方法对韭蛆的田间防治效果. 植物保护学报，45(2)：282 – 289］

Shi CH，Hu JR，Zhang YJ，2016b. The dual character of ozone in the prevention and control of agricultural pests. *China Plant Prot*.，36(11)：20 – 27.［史彩华，胡静荣，张友军，2016b. 臭氧在农业害虫防治中的“双重性”. 中国植保导刊，36(11)：20 – 27］

Shi CH，Yang FS，Zhu X，Du EX，Yang YT，Wang SL，Wu QJ，Zhang YJ，2016. Evaluation of housekeeping genes for quantitative real-time PCR analysis of *Bradysia odoriphaga* (Diptera：Sciaridae). *Int. J. Mol. Sci*.，17(7)：1034.

Tzortzakis N，Chrysargyris A，2017. Postharvest ozone application for the preservation of fruits and vegetables. *Food Rev. Int*.，33(3)：270 – 315.

Walse SS，Tebbets JS，James GL，2017. Postharvest fumigation of California table grapes with ozone to control Western black widow spider (Araneae：Theridiidae). *Postharvest Biol. Tec*.，134：1 – 4.

Wang CT，Shi BC，Gong YJ，Li XH，Yan H，2003. Ozone concentration test of vegetables in shed. *New Agric. Technol*.，(6)：26 – 27.［王超铁，石宝才，宫亚军，李兴红，严红，2003. 臭氧在棚室蔬菜的释放浓度试验. 农业新技术，(6)：26 – 27］

Wang F，Liu YJ，Zhang WF，1999. Experimental observation on stability and germicidal efficacy of ozone water. *Chin. J. Disinfect*.，16(2)：69 – 72.［王芳，刘育京，张文福，1999. 臭氧水稳定性及杀菌性能的试验观察. 中国消毒学杂志，16(2)：69 – 72］

Wang HT，Song CF，Wang YZ，2015. The taxis of *Bradysia odoriphaga* adults to different colors and the luring effect of yellow plate. *Jiangsu Agric. Sci*.，43(6)：133 – 134.［王洪涛，宋朝凤，王英姿，2015. 韭菜迟眼蕈蚊成虫对不同颜色的趋性及黄色黏虫板的诱杀效果. 江苏农业科学，43(6)：133 – 134］

Wang P，Qin YC，Pan PL，Li PY，2011. The analysis of the volatile component from the sugar-acetic acid-ethanol water solutions and their trapping effects on *Bradysia odoriphaga*. *Acta Phytophy. Sin*.，38(6)：513 – 520.［王萍，秦玉川，潘鹏亮，李鹏燕，2011. 糖醋酒液对韭菜迟眼蕈蚊的诱杀效果及其挥发物活性成分分析. 植物保护学报，38(6)：513 – 520］

Yang JK，Zhang XM，1985. Notes on the fragrant onion gnats with descriptions of two new species of *Bradysia* (Diptera：Sciaridae). *Acta Agric. Univ. Pekin*.，11(2)：153 – 156.［杨集昆，张学敏，1985. 韭菜蛆的鉴定迟眼蕈蚊属二新种（双翅目：眼蕈蚊科）. 北京农业大学学报，11(2)：153 – 156］

Yu LG，Liu N，Zhao Q，Wei RX，Guo WZ，2017. Effect of different ozone concentrations on growth and development of eggplants. *Northern Hortic*.，(19)：1 – 5.［余礼根，刘楠，赵倩，卫如雪，郭文忠，2017. 不同臭氧浓度处理对盆栽茄子生长发育的影响. 北方园艺，(19)：1 – 5］

Zhang J，Feng D，Sun J，Zheng C，Gao Y，Sun C，Liu H，2014. Variation of soil temperature in cotton field covered with plastic film under saline water irrigation. *BioTechnol. Ind. J*.，10(18)：10197 – 10203.

Zhou KQ，Feng Y，2001. Influence of ozone to the growth of cultivating vegetables in Guangzhou. *J. Huazhong Agric. Univ*.，20(4)：344 – 347.［周康群，冯岩，2001. 臭氧对广州主要栽培蔬菜生长的影响. 华中农业大学学报，20(4)：344 – 347］

Zhou XH，Liu JK，Jia Y，Cao X，Zhuang QY，Yu Y，2016. Control of *Bradysia odoriphaga* (Diptera：Sciaridae) by ozone. *China Veg*.，(8)：85 – 87.［周仙红，刘家魁，贾湧，曹雪，庄乾营，于毅，2016. 利用臭氧水防治韭菜迟眼蕈蚊. 中国蔬菜，(8)：85 – 87］

Zhu F，2018. Effect of ozone treatment on the quality of grain products. *Food Chem*.，264(30)：358 – 366.

（责任编辑：赵利辉）